

# **Technická univerzita v Liberci**

## **Fakulta strojní**

Studijní program B2341 – Strojírenství

Materiály a technologie  
zaměření strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské technologie  
Oddělení strojírenské metalurgie

## **Výroba automobilových odlitků z grafitických litin**

### **Production of automotive cast iron graphite**

Martin Fikar

**KSP – SM – B30**

Vedoucí diplomové práce: Ing. Iva Nováková, Ph.D.

#### **Rozsah práce a příloh:**

<b>Počet stran</b>	49
<b>Počet tabulek</b>	7
<b>Počet obrázků</b>	33
<b>Počet příloh</b>	0

**Datum:** 5.1.2011

Originální zadání BC

# **Anotace**

## **Technická univerzita v Liberci**

### **Fakulta strojní**

#### **Katedra strojírenské technologie**

#### **Oddělení strojírenské metalurgie**

Studijní program: B2341 – Strojírenství

Student: Martin Fikar

Téma práce: Výroba automobilových odlitků z grafitických litin

Číslo BP: KSP – SM – B30

Vedoucí BP: Ing. Iva Nováková, Ph.D.

#### **Abstrakt:**

Tato práce se zabývá výrobou automobilových odlitků z grafitických litin. Zaměřuje se především na charakteristiku grafitických litin. Dále popisuje metalurgii a technologii výroby jednotlivých druhů grafitických litin. Na závěr obsahuje i praktickou aplikaci v automobilovém průmyslu.

#### **Abstract:**

This thesis is focused on production of automotive casting from graphite irons. There are described characteristics of graphite cast iron too. Other topics talk about metallurgy and technology of productions of kinds of graphite cast irons. At the end, there are contained practical applications in automotive industry.

**Místopřísežné prohlášení:**

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 5.ledna 2011

.....

Martin Fikar  
Husova ul.656/28  
460 17 Liberec 1

**Poděkování:**

Tímto bych rád poděkoval Ing. Ivě Novákové, Ph.D., za připomínky a cenné rady při psaní této bakalářské práce.

# OBSAH

<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>8</b>
<b>2 CHARAKTERISTIKA GRAFITICKÝCH LITIN.....</b>	<b>10</b>
2.1 Grafit v litinách.....	12
2.2 Základní kovová hmota .....	15
2.3 Druhy grafitických litin .....	17
<b>3 METALURGIE GRAFITICKÝCH LITIN .....</b>	<b>27</b>
3.1 Tavení litin .....	27
3.2 Očkování .....	32
3.3 Modifikace .....	33
<b>4 TECHNOLOGIE VÝROBY ODLITKŮ Z GRAFITICKÝCH LITIN .....</b>	<b>36</b>
4.1 Pískové formy.....	36
4.1.1 Pískové etážové formy .....	39
4.2 Formy z chemicky vytvrditelných směsí (metoda CT) .....	39
4.3 Skořepinové formy (metoda Croninga – metoda C).....	40
4.4 Skořepinové formy - metoda vytavitelného modelu.....	40
<b>5 APLIKACE GRAFITICKÝCH LITIN V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU</b>	<b>42</b>
<b>6 ZÁVĚR.....</b>	<b>45</b>
<b>7 POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>46</b>

### **Seznam použitých zkratek:**

GJL, LLG:	Litiny s lupínkovým grafitem
GJS, LKG:	Litiny s kuličkovým grafitem
GJV, LČG:	Litiny s červíkovitým grafitem
KVZ:	Kovy vzácných zemin
S <sub>c</sub> :	Stupeň eutektičnosti
R <sub>m</sub> , [MPa]:	Pevnost v tahu
A, [%]:	Tažnost
E, [GPa]:	Modul pružnosti
R <sub>p0,2</sub> , [MPa]:	Smluvní mez kluzu
HB:	Metoda Hot Box
CB:	Metoda Could Box
CT:	Metoda chemicky vytvrditelných směsí

# 1 ÚVOD

Litina je jedním z nejstarších kovových materiálů. První litinové odlitky se objevují v Číně už ve 4. století př.n.l. Do Evropy se jejich výroba dostala až ve 14. století našeho letopočtu.[9]

V dnešní době patří litiny do skupiny nejdůležitějších kovových materiálů. Jejím hlavním spotřebitelem je automobilový průmysl, dále pak průmysl obráběcích strojů, tvářecích strojů, atd.

Nejstarší grafitickou litinou je litina s lupínkovým grafitem. Vyrábí se převážně v kuplovnách, pro dosažení lepších vlastností a homogenní struktury se očkuje. Litina s lupínkovým grafitem má poměrně špatné plastické vlastnosti, a naopak výborné útlumové vlastnosti. Využívá se např. v průmyslu obráběcích strojů (stojany obráběcích strojů), v automobilovém průmyslu (brzdové kotouče).

Následuje ji litina s kuličkovým grafitem. Litina s kuličkovým grafitem se začala od ukončení druhé světové války rychle rozšiřovat a v řadě oblastí nahradila dražší ocel jako konstrukční materiál. Její výroba probíhá nejčastěji v elektrických indukčních pecích. Pro vznik kuliček grafitu je zapotřebí modifikátoru a následně se tavenina ještě očkuje. V porovnání s litinou s lupínkovým grafitem se vyznačuje vyšší pevností, tažností a tvrdostí. Používá na výrobu dynamicky zatížených dílů v automobilovém průmyslu (klikové a vačkové hřídele, diferenciály, atd.), v průmyslu obráběcích strojů (převodové a ložiskové skříně).

Posledním typem, kterým se tato práce zabývá je litina s červíkovitým grafitem. Tento druh litiny se vyrábí obdobnou modifikací jako litina s kuličkovým grafitem, za předpokladu, že nedojde k úplné sferoidizaci grafitu. Toho je možné docílit různými metodami. Mechanické vlastnosti této slitiny stojí mezi vlastnostmi litiny s lupínkovým a kuličkovým grafitem. S rostoucími objemy a výkony motorů automobilů rostou také kvalitativní požadavky na mechanické vlastnosti odlitků. Tyto požadavky dobře splňuje právě litina s červíkovitým grafitem (bloky motorů).

Mechanické vlastnosti litin závisí nejen na tvaru a velikosti grafitu, ale i na základní kovové hmotě, ve které je grafit uložen.

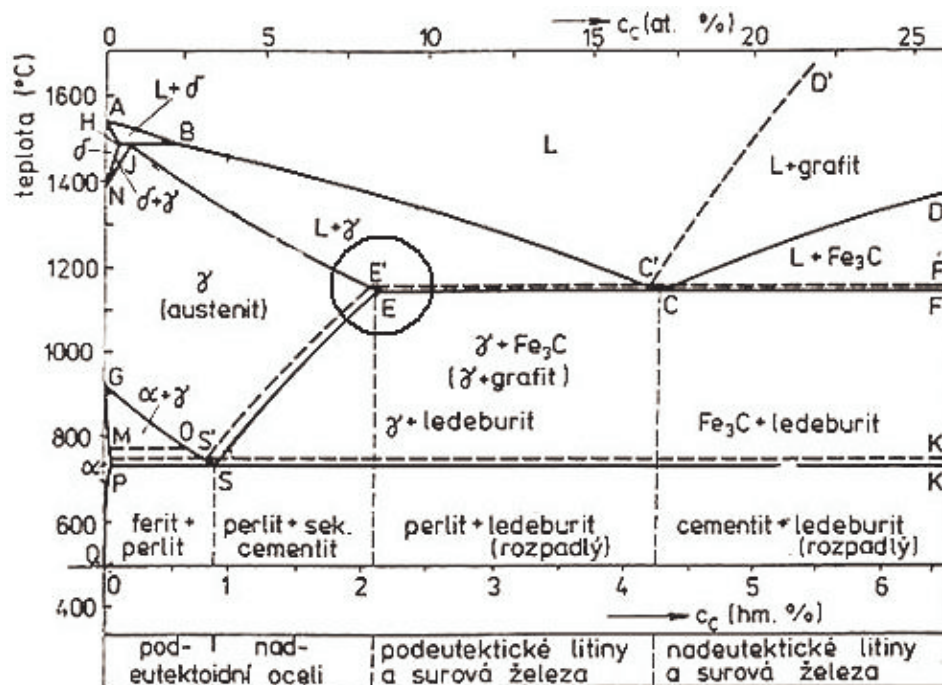


Tato bakalářská práce se zabývá charakteristikou a metalurgií grafitických litin. Dále pak výrobou odlitků z grafitických litin a na konkrétních příkladech přibližuje využití těchto litin v praxi.

## 2 CHARAKTERISTIKA GRAFITICKÝCH LITIN

Litiny jsou konstrukční materiály, které slouží výhradně k výrobě odlitků. Litiny mají velmi dobré slévárenské vlastnosti, zejména zabíhavost, což umožňuje odlévat tenkostěnné odlitky s tloušťkou stěn několik mm. Smršťování v tekutém stavu i při tuhnutí je v důsledku krystalizace grafitu menší než u ocelí, riziko výskytu staženin je nižší. Teplota tavení litin je cca 1300 až 1400°C. Zároveň jsou výhodné z hlediska nákladů, protože jejich výroba je levná. [9]

Litiny jsou slitiny železa, uhlíku a dalších prvků. Obsah uhlíku v litinách musí být vyšší než 2,11%, což je maximální obsah uhlíku, kdy dochází k jeho rozpuštění v austenitu za eutektické teploty (tj. 1147°C – dána bodem E v rovnovážném diagramu železo - uhlík). S rostoucím obsahem uhlíku v litině se zlepšují slévárenské vlastnosti. Rovnovážný diagram soustavy Fe – C (stabilní i metastabilní je uveden na obr. 1. [10]

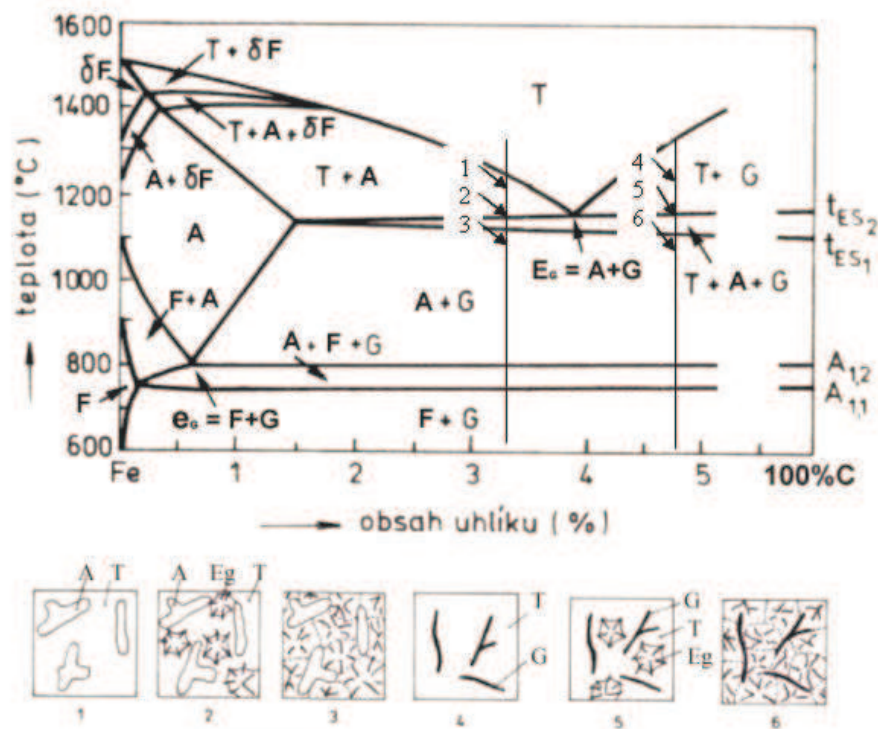


Obr. 1 Rovnovážný diagram Fe – C, stabilní / metastabilní [12]

Vedle vyššího obsahu uhlíku (C) litiny obsahují křemík (Si), mangan (Mn), fosfor (P) a síru (S).

Obsah křemíku v litině bývá cca 1,5 až 4%. Litiny proto bývají často považovány za trojné slitiny Fe – C – Si. Průběh krystalizace a překrystalizace se pak řídí pomocí ternárního diagramu této soustavy, který má stabilní rovnováhu s vyššími a metastabilní rovnováhu s nižšími teplotami fázových přeměn obdobně jako binární rovnovážný diagram železo – uhlík. [9]

Jelikož jsou však tyto diagramy složité, bývají nahrazovány tzv. pseudobinárními diagramy. Tyto diagramy vycházejí z předpokladu, že obsahy základních dvou složek jsou proměnné a obsah třetí je konstantní. Příklad diagramu pro proměnný obsah Fe a C s konstantním obsahem 2% Si je uveden na obr. 2. Tento diagram je hodně podobný binárnímu diagramu železo – uhlík, avšak koncentrace C je posunuta doleva a teploty fázových přeměn směrem k vyšším teplotám. Největší rozdíl je v tom, že se zde nevyskytuje jedna eutektická teplota, nýbrž interval teplot  $t_{ES1}$  -  $t_{ES2}$ . Podobně tak i eutektoidní přeměna probíhá v teplotním intervalu  $A_{1,1}$  -  $A_{1,2}$ . Intervaly těchto teplot jsou řízeny obsahem křemíku. [9]



Obr. 2 Pseudobinární diagram Fe-C-Si (2 %Si) [9]

O tom jaká vznikne struktura litiny, rozhoduje hned několik vlivů [10]:

- a) Chemické složení taveniny – obsah C, Si, Mn, P, S a dalších prvků.
- b) Rychlost tuhnutí a chladnutí - tloušťka stěny odlitku, typy forem a jader.
- c) Zárodečný stav taveniny - vliv očkování, modifikace, teplota a doba přehřátí taveniny.
- d) Způsob tepelného zpracování – bainitické kalení, temperování atd.

Tyto podmínky určují, zda tavenina bude krystalizovat dle soustavy stabilní Fe – C nebo metastabilní Fe – Fe<sub>3</sub>C, viz obr. 1.

Pokud tavenina krystalizuje podle metastabilní soustavy, vzniká cementické eutektikum, tzv. ledeburit a litiny se označují jako **karbidické** (dříve označované jako litiny bílé, cementit zbarvuje lomové plochy bíle). [9]

Pokud tavenina krystalizuje podle stabilní soustavy, vzniká grafitické eutektikum, které je tvořeno austenitem a grafitem. Tyto litiny jsou označovány jako **litiny grafitické** (dříve označované jako litiny šedé, grafit zbarvuje lomové plochy šedě). [9]

Přechod mezi litinou karbidickou a grafitickou je označován jako litina maková (přechodová), která obsahuje jak grafitické tak karbidické eutektikum. [10]

## 2.1 Grafit v litinách

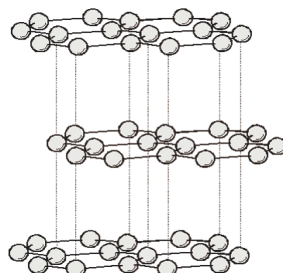
Jak již bylo uvedeno, struktura grafitických litin je tvořena grafitem a základní kovovou hmotou, u litin karbidických pouze základní kovovou hmotou.

Uhlík v litinách se vyskytuje ve dvou formách. Jedná se o uhlík volný, což je grafit a uhlík vázaný, který je rozpuštěn v základní kovové hmotě. Celkový obsah uhlíku se musí rovnat součtu uhlíku volného a vázaného. [9]

**Grafit** je krystalická forma uhlíku. Krystalizuje v hexagonální soustavě, je měkký a jeho tvárnost a pevnost jsou nepatrné, má velmi dobrou tepelnou vodivost. Svou přítomností zmenšuje průřez kovové hmoty, avšak zároveň přispívá k vyšší schopnosti útlumu.

Grafit ve struktuře litin může vzniknout při krystalizaci nadeutektických

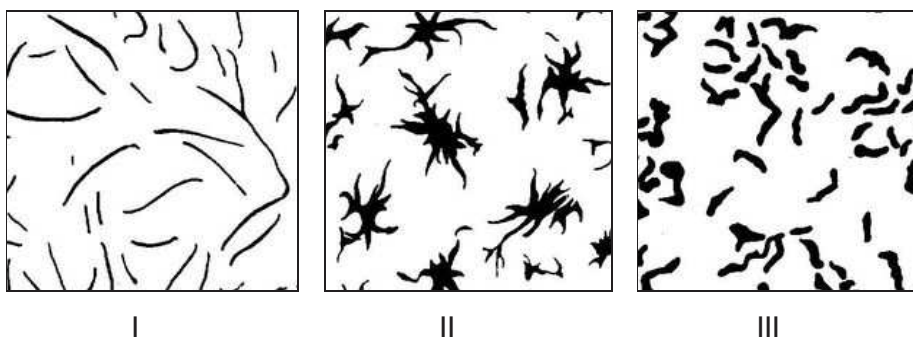
litin (primární grafit) a při eutektické přeměně (eutektický grafit) v podmínkách stabilní rovnováhy a zůstává ve struktuře litiny bez ohledu na to, zda další přeměny probíhají dle stabilní nebo metastabilní rovnováhy.[10]

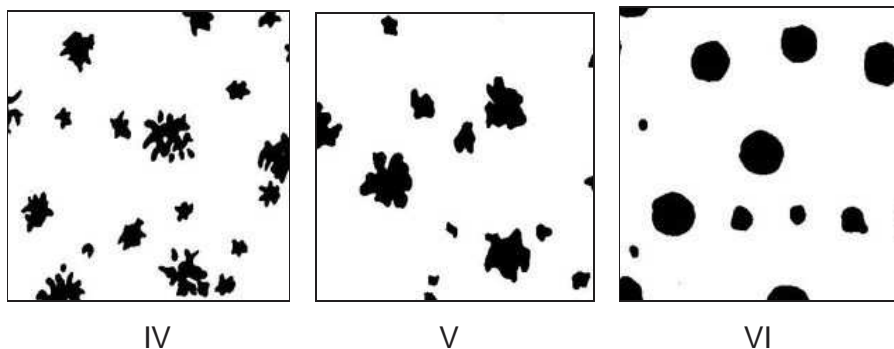


Obr. 4 Krystalická mřížka grafitu [11]

Pevnost grafitu, jak již bylo uvedeno výše, je oproti základní kovové hmotě zanedbatelná. Proto má na mechanické vlastnosti grafitických litin velký vliv především množství, tvar, velikost a rozložení grafitu.

Při krystalizaci za normálních podmínek se vylučuje grafit v podobě lupínků. V případě přidání modifikátoru do taveniny, má vyloučený grafit jinou morfologii. Morfologie (tvary) vyloučeného grafitu jsou přechodem mezi lupínkovým a kuličkovým (globulárním) grafitem. Tyto tvary a rozložení jsou kvalifikovány a normovány v normě ČSN EN ISO 945 (nahrazuje a doplňuje ČSN 42 0461). Tvary grafitu obr. 5. [1]





I – lupínkový grafit  
 II – pavoučkový grafit  
 III – červíkovitý grafit

IV – vločkový grafit  
 V – nedokonale kuličkový grafit  
 VI – pravidelně kuličkový grafit

Obr. 5 Typy tvarů grafitu

Grafit může být ve struktuře rozložen pravidelně, nebo nerovnoměrně. Rozložení grafitu se hodnotí do 5 skupin, viz obr. 6. Z hlediska mechanických vlastností je nejvýhodnější stejnoměrná velikost a rovnoměrné rozložení grafitu.



A – rovnoměrné rozložení  
 B – růžicovité  
 C – smíšené

D – mezidendritické neusměrněné  
 E – mezidendritické usměrněné

Obr. 6 Typy rozložení grafitu

## 2.2 Základní kovová hmota

Základní kovová hmota neboli matrice litiny je důležitou součástí struktury litiny a vzniká transformací austenitu dle daných podmínek. [10]

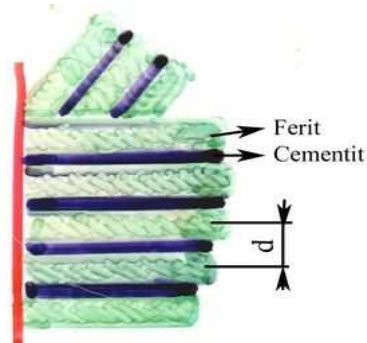
Jak již bylo uvedeno výše, struktura matrice závisí na chemickém složení, rychlosti ochlazování a průběhu tuhnutí, stavu krystalizačních zárodků a tepelném zpracování.

U nelegovaných litin může být základní kovová hmota podle podmínek transformace austenitu **feritická, feritickoperlitická, perlitická**. U legovaných litin nebo litin tepelně zpracovaných může základní kovová hmota obsahovat austenit, martenzit, bainit nebo komplexní karbidy. Ve struktuře litin se mohou současně objevit i další strukturní části jako je cementit nebo steadit. [9] [10]

**Ferit** vzniká při eutektoidní transformaci austenitu podle stabilního diagramu a je tvořen kubickou mřížkou prostorově středěnou  $\alpha$  – Fe. Vznik feritu podporuje přítomnost křemíku a pomalé ochlazování. Čistý ferit je měkký, tvárný, málo pevný, dobře obrobitelný, v litinách je nositelem houževnatosti. Na jeho vlastnosti mají velký vliv legury, které společně se železem tvoří substituční tuhý roztok, zvyšují jeho pevnost a tvrdost. Některé prvky, např. nikl (Ni), chrom (Cr) a mangan (Mn) zvyšují houževnatost feritu. Naopak prvkem snižujícím houževnatost je křemík (Si). [9] [10]

**Perlit** je eutektoid vzniklý rozpadem austenitu podle metastabilního diagramu. Vzniklý perlit může být lamelární nebo globulární. Hlavní fází je zde cementit, vedle kterého vznikají lamely feritu. Z jednoho austenitického zrna vznikne několik zrn perlitu s odlišnou orientací lamel. V porovnání s feritem dosahuje vyšší pevnosti, tvrdosti a odolnosti proti opotřebení. Naopak se vyznačuje horšími plastickými vlastnostmi a horší obrobitelností. Vlastnosti perlitu jsou dány jeho dispersitou, tj. vzdáleností dvou sousedních lamel feritu, viz obr. 7. Čím blíže jsou k sobě lamely feritu, tím jsou mechanické vlastnosti perlitu lepší. [9] [10]





Obr. 7 Dispersita perlitu [9]

**Austenit** je tuhý roztoku uhlíku v železe  $\gamma$  ( $\gamma$  – Fe). Má kubickou plošně středěnou mřížku, je měkký, tvárný, odolný proti korozi a působení vysokých teplot. Za normálních teplot se vyskytuje pouze v niklem legovaných litinách nebo jako zbytkový austenit po tepelném zpracování. [9]

**Cementit** je intermediární fáze s obsahem 6,68% C. Krystalizuje v orthorombické soustavě a do teploty 217°C je feromagnetický. V litinách vzniká rozpadem ledeburitu. Pro své vlastnosti, jako je vysoká tvrdost a křehkost, špatná obrobitelnost a téměř žádná tvárnost, je cementit nežádoucí strukturní složkou litin. [9] [10]

**Steadit** je ternární fosfidické eutektikum, směs železa, karbidu železa a fosfidu železa. Je to nežádoucí eutektikum vyskytující se v litině s vyšším obsahem fosforu (0,3%) ve formě „pavučinek“ na hranicích eutektických buněk. Je tvrdou strukturní složkou litin. [10]

**Ledeburit** je eutektikum metastabilní soustavy Fe-Fe<sub>3</sub>C, je tvořen austenitem a ledeburitickým cementitem. Obsahuje 4,3% uhlíku. Ledeburit je jednou ze základních složek karbidických litin. V litinách grafitických se objevuje v místech s rychlým odvodem tepla (např. žebrech), kde dochází k tuhnutí podle metastabilní soustavy. Tato místa jsou označována jako tzv. zákalky.[9]

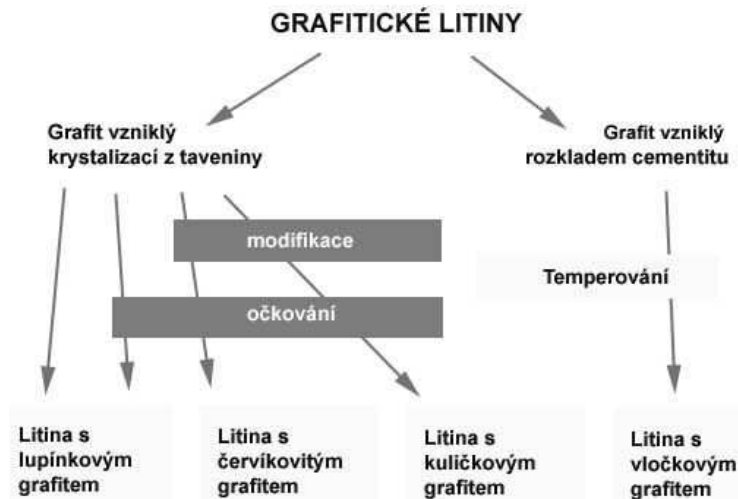
**Martenzit** vzniká u litin po tepelném zpracování bezdifúzním rozpadem austenitu. V legovaných litinách vzniká někdy přímo v litém stavu. Vyznačuje se především velkou tvrdostí a křehkostí. [9]

**Bainit** vzniká buď tepelným zpracováním nebo přímo po odlití u litin legovaných zejména molybdenem a niklem. Tyto litiny mají vysokou pevnost a tvrdost při zachování poměrně dobrých plastických vlastností. [1] [9]



## 2.3 Druhy grafitických litin

V dnešní době je znám a používán široký sortiment grafitických litin s vynikajícími vlastnostmi a různorodým použitím. Podle formy vyloučeného grafitu ve struktuře rozdělujeme litiny na litiny s lupínkovým LKG, kuličkovým LKG a červíkovitým grafitem LČG, viz obr. 8.



Obr. 8 Základní druhy grafitických litin [9]

Z obrázku 8 je patrné, že grafit může vzniknout krystalizací z taveniny nebo grafitizací cementitu v tuhém stavu tepelným zpracováním karbidické litiny.

### A) Litiny s lupínkovým grafitem (EN - GJL)

Litina s lupínkovým grafitem (LLG), dříve označovaná jako litina šedá, je litina, u které je grafit vyloučen v podobě prostorových útvarů, které mají na metalografickém výbrusu tvar lupínků. Má velmi dobré slévárenské vlastnosti (vynikající zabíhavost a relativně malý sklon ke smršťování), avšak mechanické vlastnosti této litiny jsou již poněkud horší. Litina s lupínkovým grafitem má kvůli svému tvaru grafitu v porovnání s ostatními litinami nejhorší mechanické vlastnosti (téměř žádnou tažnost). Tento lupínkový grafit zabírá až 10% objemu materiálu, čímž značně snižuje pevnost litiny. Délky jednotlivých lupínků jsou mnohonásobně větší než jejich tloušťka a ostré konce lupínků působí v matici jako koncentrace napětí a tím narušují základní kovovou hmotu. [10]

Díky dlouhým lupínkům grafitu však mají výborné kluzné a útlumové vlastnosti. Zároveň má v porovnání s ocelí i lepší tepelnou vodivost.

Pro konstrukční účely se používají především litiny podeutektického složení s obsahem uhlíku mezi 2,5 až 4,0% C. Litiny eutektického a nadeutektického složení se používají méně často. [3]

Mechanické vlastnosti jsou ovlivněny nejenom přítomností grafitu, ale i typem základní kovové hmoty (feritická, feritickoperlitická, perlitická). Ukázky struktur litiny s lupínkovým grafitem jsou uvedeny na obr. 9, 10, 11.

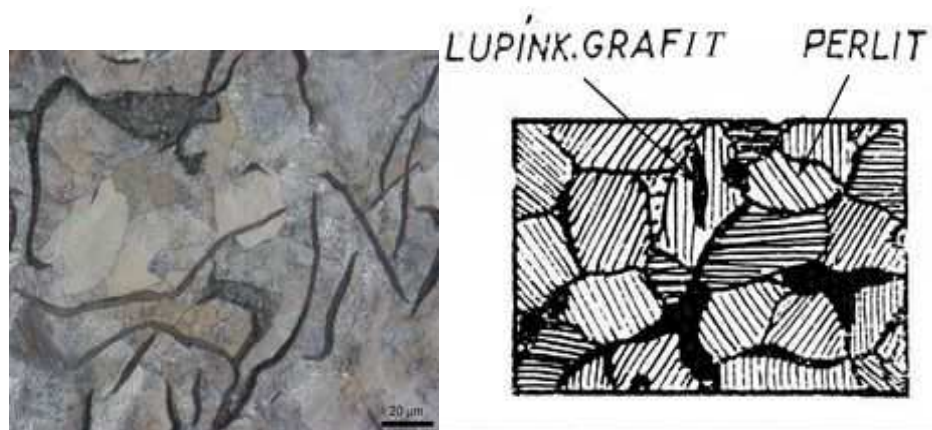
Nežádoucí složkou ve struktuře této litiny je volný cementit pro svou tvrdost, křehkost a špatnou obrobitelnost.



Obr. 9 Litina s lupínkovým grafitem s matricí feritickou [9]

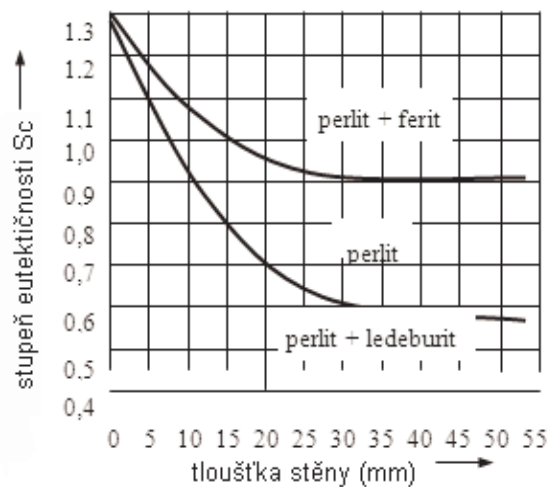


Obr. 10 Litina s lupínkovým grafitem s matricí feriticko-perlitickou [9]



Obr. 11 Litina s lupínkovým grafitem s matricí perlitickou [9]

Vyšší mechanické vlastnosti má litina s perlitickou základní kovovou hmotou. Na tom, jaká vznikne v litině základní kovová hmota má podíl i tloušťka stěny odlitku a stupeň eutektičnosti  $S_c$ , viz Sippův diagram obr. 12.



Obr. 12 Sippův diagram [9]

Mechanické vlastnosti a použitelnost litin je možné rozdělit do tří skupin na litiny pro běžné použití, litiny se zaručenými mechanickými vlastnostmi a litiny s vysokou pevností. [9]

V tabulce 1 jsou uvedeny mechanické a fyzikální vlastnosti a v tabulce 2 je uvedeno jejich použití.

Tab. 1 Mechanické a fyzikální vlastnosti litin s lupínkovým grafitem [9]

Vlastnost			Označení litiny dle EN a ČSN				
			EN-GJL-150 (EN-JL 1020) 42 2415	EN-GJL-200 (EN-JL 1030) 42 2420	EN-GJL-250 (EN-JL 1040) 42 2425	EN-GJL-300 (EN-JL 1050) 42 2430	EN-GJL-350 (EN-JL 1060) 42 2435
			struktura				
			feriticko perlitická	perlitická			
<b>Pevnost v tahu</b>	R <sub>m</sub>	N/mm <sup>2</sup>	150 až 250	200 až 300	250 až 350	300 až 400	350 až 450
<b>Smluvní mez kluzu</b>	R <sub>p0,1</sub>	N/mm <sup>2</sup>	98 až 165	130 až 195	165 až 228	195 až 260	228 až 285
<b>Tažnost</b>	A	%	0,8 až 0,3	0,8 až 0,3	0,8 až 0,3	0,8 až 0,3	0,8 až 0,3
<b>Pevnost v tlaku</b>	σ <sub>db</sub>	N/mm <sup>2</sup>	600	720	840	960	1080
<b>Pevnost v ohybu</b>	σ <sub>bB</sub>	N/mm <sup>2</sup>	250	290	340	390	490
<b>Pevnost ve střihu</b>	σ <sub>aB</sub>	N/mm <sup>2</sup>	170	230	290	345	400
<b>Pevnost v krutu</b>	τ <sub>tB</sub>	N/mm <sup>2</sup>	170	230	290	345	400
<b>Max. tvrdost</b>	HB		200	200	240	260	270
<b>Modul pružnosti</b>	E	kN/mm <sup>2</sup>	78 až 103	88 až 113	103 až 118	108 až 137	123 až 143

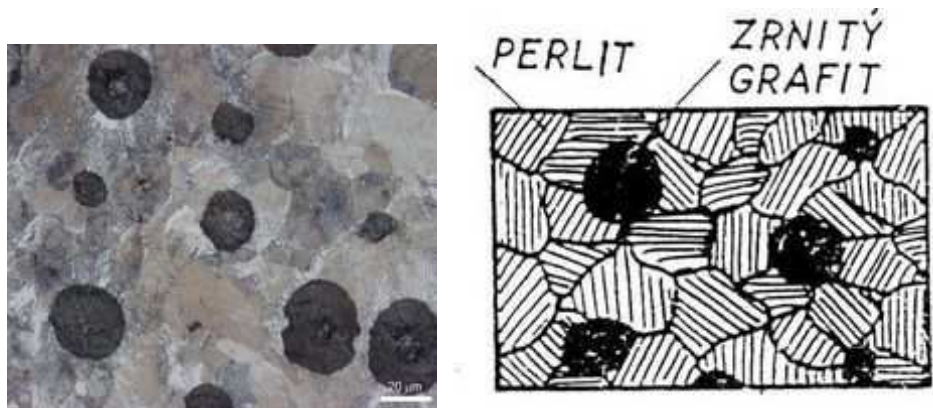
Tab. 2 Doporučené použití [9]

Značka	Charakteristika	Použití
GJL-150 (JL-1020) 42 2415	nelegovaná, pro obecné použití	Litina je vhodná pro odlitky s tloušťkou stěn od 5 do 30 mm. Např. na součásti textilních a polnohospodářských strojů, na části motorů jako víka, poklopy, ložiskové tělesa, řemenice. Pro teploty od -60 do 500 °C.
GJL-200 (JL 1030) 42 2420	nelegovaná, pro obecné použití, pro vyšší teploty	Litina je vhodná pro odlitky s tloušťkou stěn 8 až 45 mm. Např. na odlitky strojů, , částí pístových motorů, turbín, na válce kompresorů apod. Pro teploty -60 až 500 °C.
GJL-250 (JL 1040) 42 2425	nelegovaná, pro vyšší tlaky, namáhání a teploty	Litina je vhodná pro odlitky s tloušťkou stěn od 15 do 70 mm. Např. na válce motorů, součásti turbín, podřadnější ozubená kola, stojany obráběcích strojů, skříně převodů. Pro teploty od -60 do 500 °C.
GJL-300 (JL-1050) 42 2430	nelegovaná, pro vyšší tlaky, namáhání a teploty	Je vhodná pro odlitky s tloušťkou stěn od 25 až do 100 mm. Je vhodná na velmi namáhané odlitky strojních součástí, na stojany těžkých obráběcích strojů, na. Pro teploty od -60 do 500 °C.
GJL-350 (JL-1060) 42 2435	nelegovaná, pro vyšší tlaky, namáhání a vyšší teploty	Litina je vhodná pro odlitky s tloušťkou stěn od 40 do 150 mm i víc. Např. na těžké, vysoce namáhané odlitky jednoduchých tvarů, na stojany velmi těžkých strojů, tělesa čerpadel. Pro teploty od -60 do 500 °C.

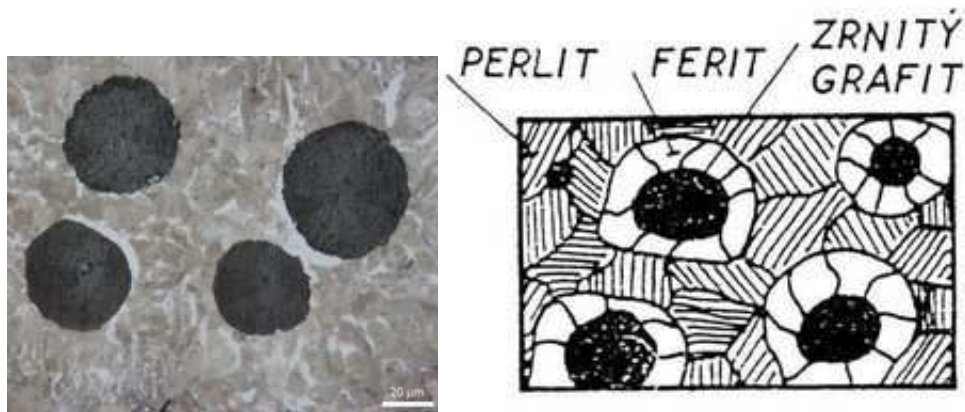
## B) Litiny s kuličkovým grafitem (EN – GJS)

Litina s kuličkovým grafitem (LKG) dříve označovaná jako litina tvárná, je litina, u které je po odlití grafit v základní kovové hmotě vyloučen ve formě globulí (kuliček). Vyloučení kuličkového grafitu je dosaženo tzv. modifikací, viz kapitola 3. Takovýto tvar grafitu porušuje základní kovovou hmotu podstatně méně než je tomu u litiny s lupínkovým grafitem a proto LKG má vyšší mechanické vlastnosti. Obsah uhlíku a křemíku je u tohoto typu litiny vyšší, než tomu bývá u litiny s lupínkovým grafitem (obvykle 3,2 až 4,0 % C). [1] [10]

Základní kovová hmota litiny s kuličkovým grafitem je tvořena obdobně jako u LLG perlitem nebo feritem.

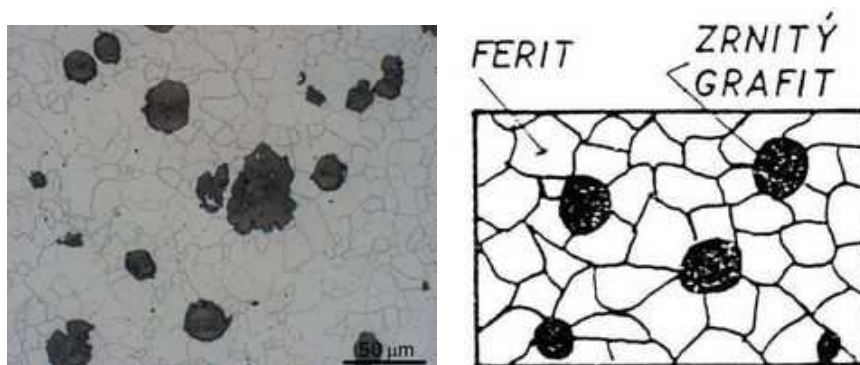


Obr. 13 Litina s kuličkovým grafitem s matricí perlitickou [9]



Obr. 14 Litina s kuličkovým grafitem s matricí feriticko-perlitickou, minimálním množstvím feritu [9]





Obr. 15 Litina s kuličkovým grafitem s matricí feritickou [9]

Litina s kuličkovým grafitem je v dnešní době nejpoužívanější litinou a někdy je používána místo oceli na odlitky. Ve srovnání s ocelí na odlitky je LKG výhodnější z ekonomického hlediska, tj. na její výrobu jsou nižší energetické náklady, je výhodnější z hlediska spotřeby kovu a zejména není nutné tepelné zpracování jako je tomu u ocelových odlitků. Mezi její další klady lze zařadit menší měrnou hmotnost, dobré kluzné a tlumící vlastnosti. Má také lepší slévárenské vlastnosti a obrobitelnost. [9]

Litiny s kuličkovým grafitem se dělí podle použití do třech skupin na litiny pro běžné použití, litiny pro běžné použití pro práci za nízkých teplot, litiny s vyšší pevností. [9]

V tabulce 3 a 4 jsou uvedeny mechanické vlastnosti a použití litin s kuličkovým grafitem.

Tab. 3 Vlastnosti litin s kuličkovým grafitem [9]

Vlastnost	Označení materiálu dle EN a ČSN				
	GJS-350-22 (JS 1010) 42 2303	GJS-500-7 (JS 1050) 42 2305	GJS-600-3 (JS 1060) 42 2306	GJS-700-2 (JS 1070) 42 2307	GJS800-2 (JS 1080) 42 2308
<b>Pevnost ve střihu [N/mm<sup>2</sup>]</b>	315	450	450	540	630
<b>Pevnost v krutu [N/mm<sup>2</sup>]</b>	315	450	540	630	720
<b>Modul pružnosti E [GN/m<sup>2</sup>]</b>	169	169	174	176	176
<b>Pevnost v tlaku [n/mm<sup>2</sup>]</b>	-	800	870	1000	1150

Tab. 4 Vlastnosti a doporučené použití litin s kuličkovým grafitem [9]

Značka EN ČSN	Charakteristika	Použitelnost	A min [%]	Rm min [MPa]	HB max.
GJS350-22 (JS 1010) 42 2303	feritická, pro vyšší tlaky, namáhání a teploty a pro nízké teploty	Vhodná pro odlitky s tloušťkou stěny od 5 do 100 mm i víc. Např. na součástky vozidel, polnohospodářských strojů, armatur a jiné dynamicky namáhané odlitky.	17	370	184
GJS400-15 (JS 1030) 42 2304	feritická, pro všeobecné použití, pro vyšší tlaky, namáhání a teploty	Vhodná pro odlitky s tloušťkou stěny 5 až 100 mm i víc. Např. na součástky vozidel, polnohospodářských strojů, převodové a ložiskové skříně, na tělesa armatur a jiné dynamicky namáhané odlitky.	12	400	204
GJS400-15 (JS 1030) 42 2304	feritická, pro všeobecné použití, pro vyšší tlaky, namáhání a teploty	Vhodná pro odlitky s tloušťkou stěny 5 až 100 mm i víc. Např. na součástky vozidel a polnohospodářských strojů, převodové a ložiskové skříně a jiné dynamicky namáhané odlitky.	12	400	204
GJS600-3 (JS 1060) 42 2306	perliticko-feritická, pro vyšší tlaky a namáhání, otěruvzdorná	Vhodná pro odlitky s tloušťkou stěny od 5 do 100 mm a to na součástky namáhané mechanicky a otěrem. Např. na klikové a vačkové hřídele, písty, pístní kroužky, na ozubená kola.	3	600	270
GJS700-2 (JS 1070) 42 2307	perlitická, pro vyšší tlaky a namáhání, otěruvzdorná	Vhodná pro odlitky s tloušťkou stěny od 5 až 75 mm na součástky více namáhané a otěruvzdorné. Je vhodná na ozubená kola, klikové a vačkové hřídele, kola čerpadel a rozváděcí kola, brzdové bubny apod.	2	700	300
GJS800-2 (JS 1080) 42 2308	perliticko-sorbitická, pro vyšší tlaky a namáhání, otěruvzdorná	Vhodná pro odlitky s tloušťkou stěny 5 až 35 mm pro součástky mechanicky i dynamicky namáhané, konkrétně na ozubená kola, klikové a vačkové hřídele, kola čerpadel a rozváděcí kola, brzdové bubny apod.	2	800	348

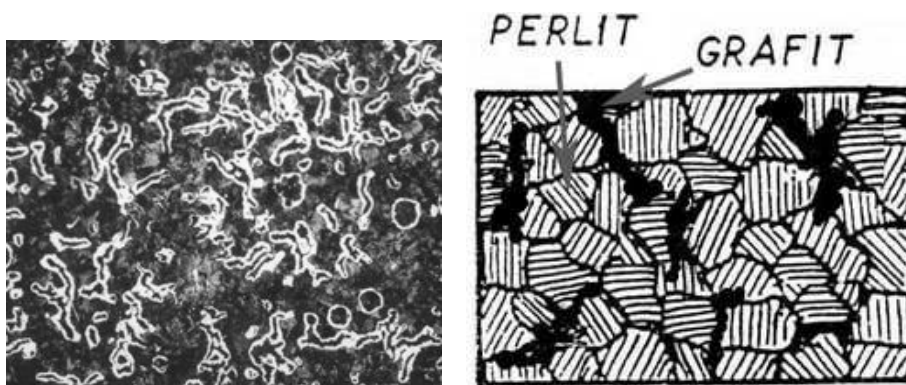
### C) Litiny s červíkovitým grafitem (EN – GJV)

Litina s červíkovitým (vermikulárním) grafitem (LČG) je litina, v jejíž základní kovové hmotě je grafit vyloučen v podobě zvláštních útvarů - červíků.

Tohoto typu grafitu se dosáhne tzv. modifikací, u které je hlavním požadavkem, aby nedošlo k úplné sferoidizaci grafitu. Původně byl tento tvar grafitu považován za nežádoucí formu grafitu vyloučeného v litině s kuličkovým grafitem.

Proti lupínkovému grafitu jsou tyto ploché útvary grafitu kratší a tlustší a jejich zakončení je zakulacené. Červíkovitý grafit méně narušuje základní kovovou hmotu, proto má litina s tímto typem grafitu proti litině LLG vyšší mechanické vlastnosti, ale na druhou stranu má i nižší schopnost útlumu.[9][10]

Litina s červíkovitým grafitem obsahuje 3,5 až 3,8 % C a je považována za přechod mezi litinou s lupínkovým a kuličkovým grafitem. Základní kovová hmota může být podobně jako u ostatních typů litin čistě feritická až perlitická, to záleží na uhlíkovém ekvivalentu, rychlosti ochlazování a stavu odlévané taveniny [10].

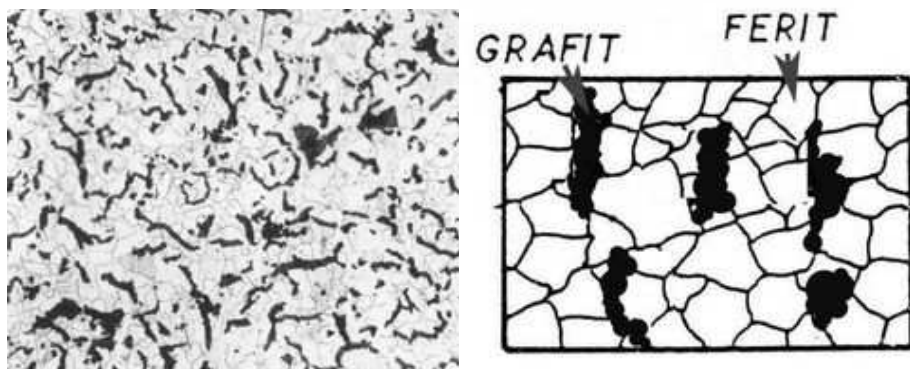


Obr. 15 Litina s vermikulárním grafitem s matricí perlitickou [9]



Obr. 16 Litina s vermikulárním grafitem s matricí feriticko-perlitickou [9]





Obr. 17 Litina s vermikulárním grafitem s matricí feritickou [9]

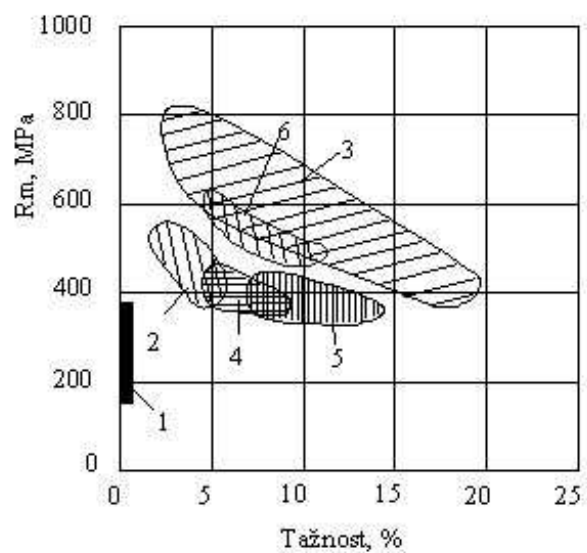
Tato litina se používá především tam, kde LKG nepostačuje svými slévárenskými vlastnostmi a LLG svými mechanickými vlastnostmi. Jedná se především o odlitky složitých tvarů, které musí odolávat dynamickému zatížení a zároveň i teplenému namáhání (např. výfukové potrubí automobilů). [10]

Přehled vlastností litiny s červíkovitým grafitem je uveden v tabulce 5.

Tabulka 5 Vlastnosti litiny s červíkovitým grafitem [9]

Vlastnost	GJL-250	GJV-300 feritická	GJV-400 feriticko- perlitická	GJV-500 perlitická	GJS-700-2
$R_m$ [MPa]	250	300	400	500	700
$R_{p0,2}$ [MPa]	-	240	300	340	400
A [%]	0,3	1,5	1,0	0,5	2,0
E [GPa]	103	140	160	170	177
Mez únavy [MPa]	60	100	135	175	245

Jak již bylo uvedeno výše, vlastnosti litin závisí na celé řadě faktorů. Pro názornost je na obr. 18 uvedeno grafické porovnání mechanických vlastností jednotlivých druhů grafitických litin.



1. litina s lupínkovým grafitem
2. litina s červíkovitým grafitem
3. litina s kuličkovým grafitem
4. litina s vločkovým grafitem (temperovaná litina s bílým lomem)
5. litina s vločkovým grafitem (temperovaná litina s černým lomem)
6. temperovaná perlitická litina

Obr. 18 Mechanické vlastnosti grafitických litin [9]

### 3 METALURGIE GRAFITICKÝCH LITIN

#### 3.1 Tavení litin

V současné době se pro výrobu litin používají kuplovny, elektrické indukční pece a plynové pece.

**Kuplovny**, viz obr. 19, jsou šachtové pece, ve kterých se vyrábí především litina s lupínkovým grafitem. U většiny kuploven je palivem koks (koksové kuplovny). [9] Vsázku tvoří kovové suroviny (surové železo, ocelový a litinový odpad), koks a struskotvorné přísady (vápenec, kazivec). Pracují jako protiproudý výměník tepla, tj. plyny stoupají vzhůru, vsázka a koks klesají dolů. Kuplovna je složena z nístěje, šachty a komínu. [15] [10]

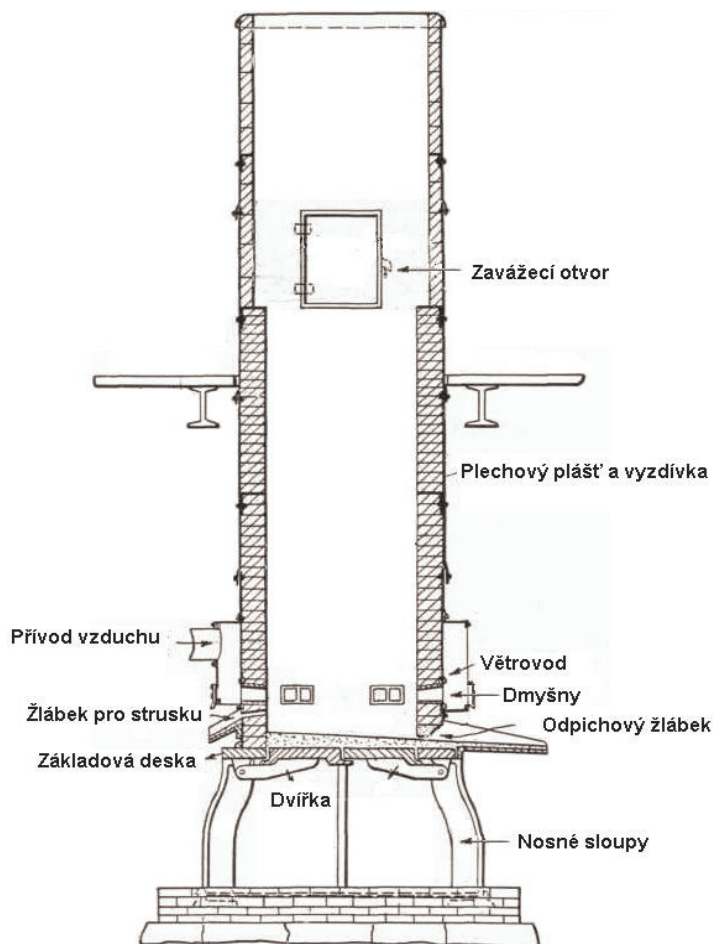
Šachta kuplovny je kruhového průřezu, má ocelový plášť a nejčastěji je částečně nebo po celé délce vyzděna žáruvzdornou vyzdívkou. Bezvyzdívkové kuplovny mají pouze ocelový plášť intenzivně chlazený vodou. V horní části šachty dochází k předehřevu vsázky a ve spodní části k tavení a přehřátí taveniny na požadovanou teplotu. Vzduch potřebný pro spalování koksu je do pece vháněn dmyšnami. Jejich počet závisí na velikosti kuplovny, malé kuplovny mají 4-6 dmyšen a velké 8-10. Průřez dmyšen závisí na průřezu kuplovny, obvykle součet průřezu dmyšen činí 20-25% průřezu kuplovny. K jednotlivým dmyšnám je vzduch přiváděn okružním větrovodem. Část pece pod větrovodem se nazývá nístěj. U kuploven s periodickým odpichem se v ní v prostorech mezi kusy koksu shromažďuje tavenina. V této části pece je umístěn jednak odpichový otvor pro vypouštění tekutého kovu a jednak odpichový otvor pro strusku. Odpichové otvory jsou utěsněny jílo-grafitovou zátkou. U pecí s kontinuálním odpichem je nístěj nižší, protože se zde tavenina neshromažďuje, ale plynule odtéká odpichovým otvorem do sifonu, kde se odděluje struska. Dno pece tvoří základová deska a dvířka, která slouží pro čištění pece od zbytků po tavení. [1]

Velikost kuplovny udává průměr šachty v oblasti dmyšen (obvykle Ø 0,7 až 1,4 m), za výšku je označován rozměr mezi dnem a zavážecím otvorem (u velkých kuploven 4,5 až 7,5 m). [10]

Kuplovny je možné třídit dle délky provozu na kuplovny s periodickým

provozem (jednodenní provoz) a kampaňovitým provozem (obvykle několik týdnů). Kuplovny mohou být vybaveny pro lepší homogenizaci chemického složení tekutého kovu i tzv. předpecím, které může být i vyhřívané.

Existují však i tzv. bezkoksové kuplovny, které jsou vybaveny plynovými hořáky, nad kterými je kovový, vodou chlazený rošt s keramickými koulemi a ten plní funkci základového koksu.



Obr. 19 Schéma kuplovny [12]

Výhodou kuploven je jejich nižší pořizovací cena, nižší provozní náklady - nízká spotřeba paliva, vysoká měrná výrobnost a možnost změny složení vsázky v průběhu tavy. [1]

Nevýhodou kuploven je obtížné dodržování chemického složení, limitovaná teplota tekutého kovu, vzhledem k přímému styku taveniny s palivem se do ní dostávají nežádoucí příměsi, zejména vyšší obsah síry.

[1] Bez použití vyhřívaného předpecí je zde i nemožnost udržení teploty taveniny. Do předpecí se litina dostává bezprostředně po svém roztavení zvláštním kanálkem, tato litina se méně nauhličuje a obsahuje i méně síry.[10]

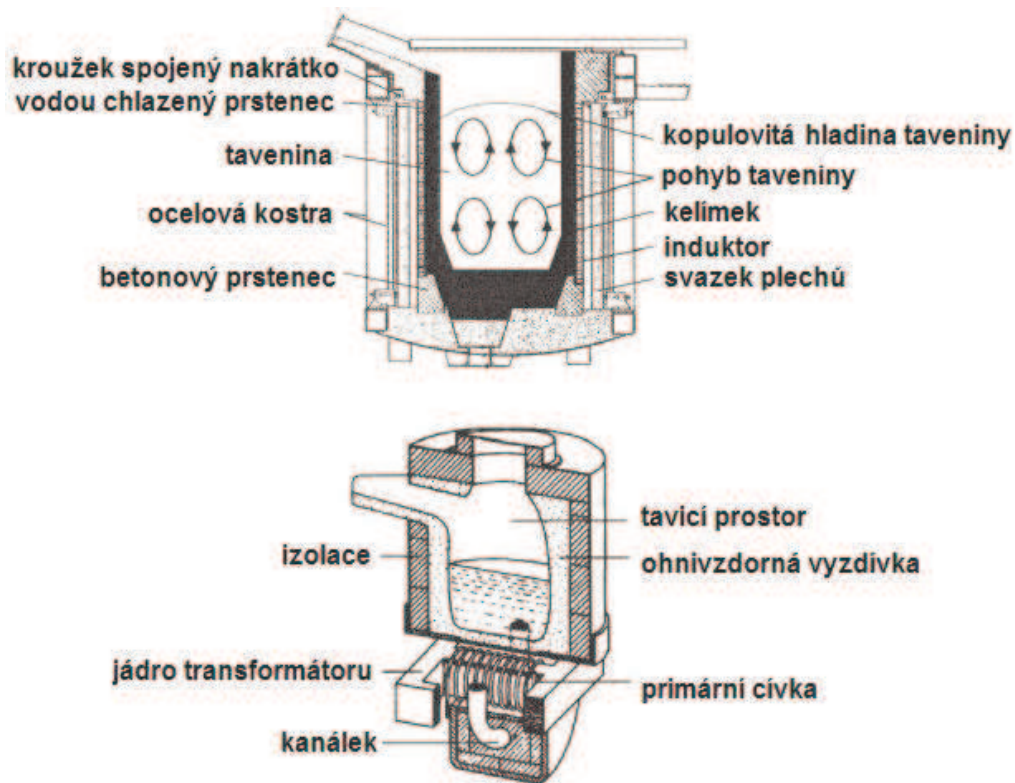
Kuplovný jsou stále ekonomicky nejvýhodnější tavicí peci pro výrobu litiny s lupínkovým grafitem.

Vedle kuploven jsou pro výrobu litiny významné **elektrické indukční pece**. Jsou to optimální tavicí zařízení pro výrobu jakostních litin. V porovnání s kuplovnou mají řadu výhodných vlastností. Jejich výhodami je zejména velká operativnost provozu, velká variabilita použitelných vsázkových surovin (lze tavit i 100% ocelové vsázky), jednoduchá úprava chemického složení, možnost dosažení vysokých teplot a výdrž na této teplotě bez nebezpečí nasíření a nauhličení kovu, menší propal prvků a zaručení homogenity chemického složení a teploty. Dále dochází k mnohem menšímu úniku plyných a prašných škodlivin, což jsou výhody ekologické.[15]

K ohřevu se využívá elektromagnetického pole, které vzniká průchodem střídavého elektrického proudu indukční cívkou. Indukční cívka je vyrobena z mědi, má dutý profil, kterým protéká chladicí médium (voda). Zařízení, ve kterém je umístěna cívka se nazývá induktor. U kelímkových pecí jádro cívky tvoří vsázka. V indukční cívkce vzniká při průchodu střídavého proudu magnetické pole, a pokud se v tomto poli nachází elektricky vodivý materiál (kovová vsázka), indukuje se v něm elektrického napětí, které vyvolá vznik silných vířivých proudů, které způsobují jeho ohřev.

Podle frekvence proudu se tyto pece dělí na pece středofrekvenční a se síťovou frekvencí. S rostoucí frekvencí klesá tloušťka ohřívané vrstvy materiálu, a proto se musí sladit frekvence s kusovitostí vsázky. Čím vyšší je frekvence, tím menší musí být kusovitost vsázky, např. pro frekvenci 50 Hz by měla být kusovitost vsázky 300mm. [1]

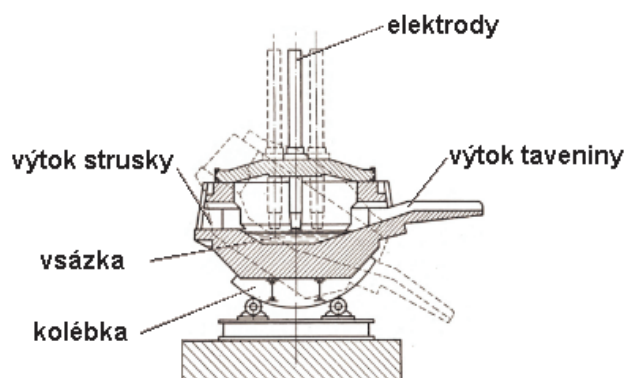
V metalurgii se využívá středofrekvenčních pecí o objemu 3 až 6 t a napájením o frekvenci 250 Hz. Podle umístění induktoru se pece rozdělují na pece kelímkové (kelímek je v ose cívky) a kanálkové, viz obr. 20. [10]



Obr. 20 Elektrická indukční pec kelímková (nahore), kanálková (dole) [12]

Pro výrobu litiny jsou výjimečně využívány i **elektrické obloukové pece**. Tyto pece však nejsou typickým agregátem pro tavení litin, nejvíce se využívají pro tavení oceli (umožňují tavit i méně čistou vsázku). Pro tavení litin se používají pouze, pokud slévárna oceli vyrábí i odlitky z litiny s kuličkovým grafitem. Jako nové tavící pece se pro výrobu litiny neinstalují.[1]

U těchto pecí se kovová vsázka taví pomocí elektrického oblouku, který hoří mezi třemi grafitovými elektrodami a kovovou vsázkou, viz obr. 21. Grafitové elektrody jsou pneumaticky nebo hydraulicky přichyceny v držáku elektrod, který je umístěn na sloupech umožňujících pohyb nahoru a dolů. Kovová vsázka je umístěna v pecní nádobě z ocelového plechu s žárovzdornou vyzdívkou. Nádoba je na kolébce umožňující naklápění pece asi o 40° na vylévací stranu a asi o 15° na druhou struskovou stranu. Hořící oblouk dosahuje teploty 3000° až 4000°C. Tekutý kov je krytý aktivní struskou, která umožňuje jeho rafinaci (snížení obsahu nežádoucích nečistot), současně však dochází k propalu řady přísadových prvků.



Obr. 21 Schéma elektrické obloukové pece [13]

Jedním z moderních tavících agregátů jsou **rotační bubnové pece**, viz obr. 22. Hlavními přednostmi těchto pecí jsou kromě nízkých emisí, především nízké provozní náklady, pružná změna výrobního sortimentu, spolehlivě dosahuje požadované kvality a v porovnání s jinými agregáty jsou i investiční náklady nižší.

Pec má tvar válce, jehož oba konce mají kónický tvar a je opatřena žáruvzdornou vyzdívkou. V předním čele je umístěn vodou chlazený hořák. Pec je uložena na podpěrných válcích, poháněných elektromotory, které zajišťují otáčení pece kolem podélné osy. Pomocí hydraulických válců je možné pec naklápět až o 45° nahoru a dolů. Plnění pece vsázkou se provádí v šikmé poloze a po naplnění se pec vrací zpět do horizontální polohy. Ohřev a tavení probíhá přímým stykem plamene se vsázkou. Náhřev vsázky je velmi intenzivní, dochází ke styku spalín s taveninou. Jako palivo rotační bubnové pece se nejčastěji používá směs kyslíku a zemního plynu.[1]



Obr. 22 Rotační bubnová pec [14]



### 3.2 Očkování

Po natavení musí být litina dále metalurgicky ošetřena. Provádí se tzv. očkování.

Očkování je technologická operace prováděná za účelem zvýšení množství krystalizačních zárodků pro krystalizaci grafitu. Toho se docílí vnášením malého množství vhodného očkovadla do roztaveného kovu. Výsledkem je pak jemný, pravidelně vyloučený grafit, homogenní struktura a vlastnosti litin a zároveň je potlačován vznik zákalky (bílé litiny v tenkých stěnách odlitku). Poněvadž je účinek očkovadla časově omezený, musí se do taveniny přidávat těsně před odléváním.

Očkovadla, tvořená nosičem a krystalizačně aktivní složkou, musí:[10]

- A) být snadno rozpustné v roztavené tavenině;
- B) zajistit rozptýlení očkovadla v roztavené litině;
- C) zvyšovat aktivitu uhlíku v litině.

Očkovadlo přidáváme do taveniny při teplotě 1360 až 1380°C v množství cca 0,1; 0,2 až 0,6% hmotnosti taveniny. Hlavními metody očkování jsou očkování v pánvi, očkování do proudu kovu, očkování plněným profilem a očkování očkovacími tělísky.

V průmyslové praxi je používána celá řada očkovadel, tj. očkovadla na bázi křemíku, uhlíku nebo na bázi karbidu křemíku. Nejpoužívanější jsou **očkovadla na bázi křemíku** - ferosilicium, u kterého se obsah Si pohybuje v rozmezí 65 až 75%. Očkovací účinek ferosilicia podporuje i malé množství Al (1 až 2%) a Ca (0,2 až 1,0%). Je-li ovšem obsah těchto přísad příliš vysoký, potom Al podporuje vznik bodlin a Ca způsobuje přítomnost struskovitých vměstků. V praxi se používají i tzv. komplexní očkovadla na bázi ferosilicia, která obsahují ještě další prvky jako je mangan, cer, barium.[1]

**Očkovadlo na bázi uhlíku** – jsou tvořeny 30% krystalického uhlíku a 40 až 50 % Si. Tento typ očkovadel se nehodí pro výrobu litin s nízkým obsahem síry (LKG). Tato očkovadla se dobře rozpouštějí při vysoké teplotě, proto se očkuje při teplotě cca 1400°C a do pánve se přidává 0,3 až 0,6% hmotnosti taveniny. [1]



**Očkovadla na bázi karbidu křemíku** – se začala používat až v relativně nedávné době. Karbid křemíku má vysokou tavící teplotu (1700°C), proto se v roztavené litině netaví, nýbrž postupně rozpouští. Vykazuje dlouhodobý očkovací účinek. Dávkování je 0,5% hmotnosti taveniny. [1]

V tabulce 6 jsou uvedena nejpoužívanější očkovadla a v tabulce 7 jsou uvedena speciální očkovadla pro výrobu LLG, LKG, LČG. [10]

Tab. 6 Přehled běžně používaných očkovadel [10]

Očkovadlo	Si [%]	Al [%]	C [%]	S [%]	P [%]	Ti [%]
<b>FeSi75</b>	74 až 79	1,50	0,10	0,01	0,02	0,10
<b>Gransil</b>	74 až 78	1,25	0,05	0,01	0,02	0,10
<b>FeSiLA 0,5</b>	74 až 78	0,50	0,05	0,01	0,02	0,10
<b>FeSiLA 0,1</b>	74 až 78	0,10	0,05	0,01	0,02	0,10

Tab. 7 Přehled speciálních očkovadel [10]

Očkovadlo	Si [%]	Ca [%]	Ba [%]	Sr [%]	Zr [%]	Al [%]
<b>Superseed 75</b>	73 až 78	max. 0,1	-	0,6 až 1,0	-	max. 0,5
<b>Superseed 50</b>	46 až 50	max. 0,1	-	0,6 až 1,0	-	max. 0,5
<b>Superseed extra</b>	73 až 78	max. 0,1	-	0,6 až 1,0	1,5 až 1,5	max. 0,5
<b>Foundrisil</b>	73 až 78	0,75 až 1,25	0,75 až 1,25	-	-	0,75 až 1,25
<b>Barinoc</b>	72 až 78	1,0 až 2,0	2,0 až 3,0	-	-	max. 1,5
<b>Zircinoc</b>	73 až 78	2,0 až 2,5	-	-	1,3 až 1,8	1,0 až 1,5
<b>ReSeed</b>	72 až 78	0,5 až 1,0	-	-	-	0,5 až 1,25

### 3.3 Modifikace

Pokud chceme vyrobit litinu s kuličkovým nebo červíkovitým grafitem, musíme provést tzv. **modifikaci**.

Modifikace je metalurgická úprava taveniny ovlivňující tvar grafitu vyloučeného při krystalizaci. Do taveniny se přidávají povrchově aktivní látky, které mají modifikační účinek. Grafit se potom v litině vylučuje v podobě kuliček nebo červíků.

**A) Litina s kuličkovým grafitem** se získá modifikací taveniny kovovým hořčíkem, předslitinou hořčíku s křemíkem nebo předslitinou hořčíku s niklem.

Modifikátor se do kovu vnáší nejrůznějšími metodami a to metodou přelévací v otevřené pánvi, ponornou metodou, různými průtokovými metodami, modifikací čistým hořčíkem v konvertoru apod. [9] [10]

Dále je možné použít hořčíkové modifikátory za předpokladu, že obsah uhlíku v tavenině je cca 3,8 až 4,0% a obsah síry je velmi malý cca 0,02%.

Modifikace probíhá rozpouštěním hořčíkových par, které probublávají taveninou litiny. Dráha bublin by měla být, pokud možno, co nejdelší a jejich vyplouvání pomalé a klidné. [9] [10]

**Kovový hořčík** - se používá v kusové formě, ve formě modifikačních patron nebo cihel. Je charakteristický intenzivní reakcí s tekutým kovem.[10]

Pro získání kuličkového grafitu je nutné, aby zbytkový obsah hořčíku byl vyšší než 0,025%. V případě nižšího obsahu hořčíku by se grafit nevytloučil ve formě kuliček. S rostoucím obsahem Mg hrozí nebezpečí vzniku karbidů. V praxi je pak obsah hořčíku v rozmezí 0,03 až 0,055% v závislosti na tloušťce stěny. Modifikuje se ve speciálním zařízení autoklávu. [1] [9]

**Předslitiny hořčíku s křemíkem a dalšími prvky** – jsou v současnosti nejvíce používanými modifikátory. Jsou lehčí a vyplouvají na povrch taveniny, předslitina je na bázi Fe-Si-Mg s obsahem 3 až 30 % Mg, 45 až 55 % Si, do 4 % Ca, cca 1 % Al, do 5 % kovů vzácných zemin, zbytek Fe. [10] [9]

**Předslitiny hořčíku s niklem** - jsou těžší než tekutý základový kov, a tak setrvávají na dně pánve, proto mají dobrou účinnost. Jsou na druhou stranu drahé a stabilizují perlit. Používají se dvě varianty, kdy první obsahuje 13 až 16 % Mg, přísady Si, Fe a zbytek je Ni. Druhou variantu tvoří 4 až 6 % Mg a zbytek je Ni. [9] [10]

**B) Litina s červíkovitým grafitem** se získá modifikací taveniny Mg v menším množství, než jaké je třeba pro vznik kuličkového tvaru, kombinací prvků s globularizačním a deglobularizačním účinkem (Mg+Ti) nebo komplexními kovy vzácných zemin (KVZ) s vysokým obsahem Ce. [9] [15]

Pro vznik litiny s červíkovitým grafitem lze použít stejné metody modifikace, jako pro modifikaci litiny s kuličkovým grafitem. [1]

**Menší množství hořčíku** - je z technického hlediska poměrně obtížný způsob modifikace, neboť červíkovitý grafit vzniká, když obsah zbytkového hořčíku leží v poměrně malém rozmezí cca 0,015 až 0,025% Mg. Při nižším obsahu se vyloučí grafit převážně lamelární, při vyšším obsahu grafit kuličkový. Pro modifikaci je možné použít čistý Mg, předstlity FeSiMg, nebo speciální přípravky s 5 až 6% Mg a cca 5% kovů vzácných zemin (KVZ). [1]

**Aplikace deglobulitizačních prvků** – je způsob modifikace, při kterém deglobulitizační prvek, nejčastěji titan, má globulitizační účinek hořčíku. Modifikace hořčíkem probíhá podobně, jako při výrobě litiny s kuličkovým grafitem, titan se do lázně přidává buď před modifikací v množství 0,15 až 0,3% Ti, nebo je součástí modifikačního přípravku. Titan zastaví přeměnu grafitu na červíkové formě, a ani zvyšování obsahu Mg nemá za následek vznik kuličkového grafitu. [1] [9]

**Modifikace kovy vzácných zemin** – je metoda modifikace, která se používá výjimečně. Mezi její nevýhody patří vznik zákalky v litině při předávkování KVZ.

Nejčastěji se používají přípravky s obsahem okolo 50% Ce. Modifikuje se přímo do proudu kovu při přelévání z lící pánve. Dávkování je závislé na obsahu síry, kdy při obsahu 0,02% S je dávkování cca 0,15 až 0,20% KVZ, při 0,03% S se dávkuje asi 0,3% KVZ. [1]

## 4 TECHNOLOGIE VÝROBY ODLITKŮ Z GRAFITICKÝCH LITIN

Technologie výroby odlitků spočívá ve vlévání roztaveného kovu do dutiny slévárenské formy. Slévárenská forma je v podstatě nádoba vyrobená ze žáruvzdorného materiálu, jejíž dutina je negativem budoucího odlitku. Plocha dutiny formy, která je po odlití ve styku s taveninou kovů, se nazývá líc formy. [6]

Odlitky z grafitických litin se převážně vyrábí **gravitačním odléváním do netrvalých forem** (pískové formy s pojivy první a druhé generace, skořepinové formy).

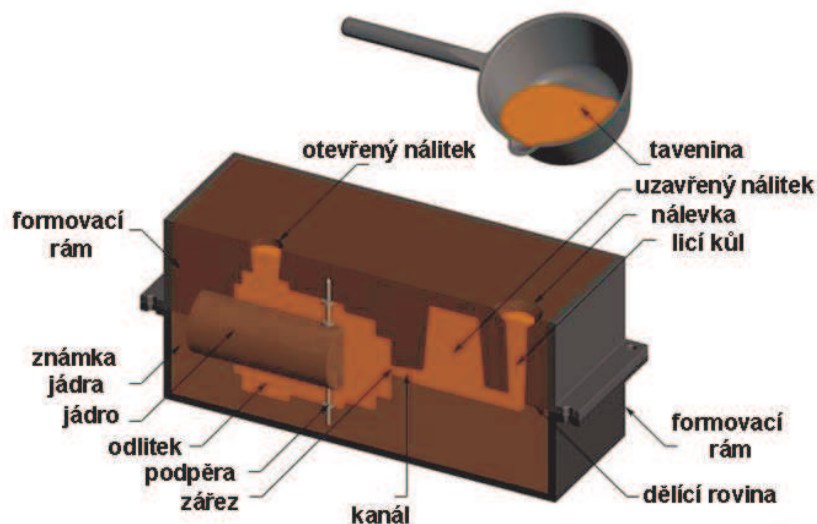
Netrvalé formy jsou formy pouze na jedno použití. Dutina formy se vytvoří pomocí modelu nebo modelové desky. [6]

### 4.1 Pískové formy

Pískové formy jsou typickým představitelem netrvalých forem, které se používají především pro výrobu litinových odlitků, jak již bylo zmíněno výše.

Písková forma se obvykle skládá ze dvou částí z horní a dolní. Formovací směs vyplní formovací rám, v němž je modelová deska. Směs se do rámu obvykle nasype a poté mechanicky upěchuje. Po vyjmutí modelu nebo modelové desky vzniká zpravidla jedna polovina formy. Po kompletaci obou příslušných polovin dostáváme celou formu. Složená forma připravená k odlévání se umístí na lící pole. Tekutý kov připravovaný v tavírnách, se pomocí pánví dopravuje a vlévá do forem.

Gravitační lití – tavenina vyplňuje dutinu formy pomocí vlastní tíhy. Následuje chladnutí a tuhnutí taveniny ve formě. Řez formou je zobrazen na obr. 24. [6]



Obr. 24 Gravitační lití do netrvalých forem „Lití do písku“ [12]

Model je těleso totožného tvaru jako budoucí výrobek, zvětšené o míru smrštění a technologické úkosy. Jeho součástí jsou i tzv. známky, které slouží k vytvoření ploch pro uložení jader do formy. Modelová deska, viz obr. 25, je nadstavba modelu, která se používá v produktivní výrobě forem. Součástí modelové desky jsou i modely vtokových soustav (jamky nebo nálevky, vtokové kanály, zářezy, struskovák) a modely výfuků a kanálu. [6]



Obr. 25 Modelová deska pro výrobu forem na odlitky z LLG a LKG používané v ČZ a.s.

Formovací směs tvoří ostřivo, pojivo, příměsi a určitý poměr vody.

**Ostřivo** tvoří nosnou a největší část směsi. Používají se ostřiva přírodní (křemenný písek) nebo umělá (korund, magnezit). [6]

**Pojivo** zajišťuje soudržnost formy. U pískových forem s pojivy první

generace se jedná především o pojiva jílová např. Bentonit.

**Příměsi** jsou složky formovací směsi, které zlepšují její vlastnosti, jako je rozpadavost, prodyšnost, vyšší odolnost proti povrchovým vadám odlitku (zapečeninám). Typickou přísadou je kamenouhelná moučka, nebo dřevěné piliny, které zvyšují prodyšnost a umožňují dilataci formy.

**Voda** je plastifikátorem formy, který udržuje tvar po formování. [6]  
K výrobě otvorů nebo dutin v odlitcích slouží **jádra**. Vkládají se do míst kam nemá natéci tavenina. Jsou upevněny ve slévárenské formě pomocí známek. Vyrábějí se v jadernících.

Podle toho zda tavenina obklopuje jádro zcela nebo jen částečně rozdělujeme jádra na pravá a nepravá. Materiál a výroba jader může být různá avšak pro produktivní výrobu a výrobu odlitku z grafitických litiny se výhradně používají písková jádra s pojivy druhé generace. Jedná se především o metodu horkého jaderníku, metodu studeného jaderníku případně výrobu jader chemicky tvrzených směsí. [6]

#### **A) Výroba jader metodou horkého jaderníku - Hot Box (HB)**

Jádrovou směs tvoří ostřivo a pojivem jsou zde močovinnové a furanové pryskyřice vytvrditelné teplem. Tato směs se vstřeluje do jaderníku, který je předehřátý cca na 220°C. Vstřelováním směsi dojde k potřebnému upěchování. Směs se ve styku s jaderníkem vytvrzuje do určité hloubky. Tloušťka vytvrzené vrstvy závisí na pojivu, teplotě a čase. Po vyjmutí jádra z jaderníku se celý průřez dotvrzuje naakumulovaným teplem z jádra. Takto se vyrábějí plná jádra složitějšího tvaru, která se používají např. na výrobu bloků motorů. [6]

#### **B) Výroba jader metodou studeného jaderníku - Cold Box (CB)**

Tato metoda využívá studeného jaderníku. Směs je opět tvořená ostřivem a pojivem. Pojivem je zde pryskyřice, která se vytvrdí přidáním katalyzátoru. Existuje více variant, jednou z nich je Ashland – Cold – Box, která využívá dvou kapalných složek pojiva v jádrové směsi – fenolovou pryskyřici (benzyletér) a polyizokrylát. Jaderník se vyplní směsí a pomocí trysky se profoukne aminovým (triethylaminem) katalyzátorem ve formě mlhy.

Tím dojde k vytvrzení směsi.

Could Box je nejrozšířenější metodou výroby jader. Je výhodnější než metoda horkého jaderníku, odpadá nákladné vytápění jaderníku. Nevýhodou je zdravotní závadnost a likvidace použitého katalyzátoru. [6]

### **C) Výroba jader chemicky tvrzených směsí (CT)**

V této metodě se používá stejné směsi jako v případě výroby forem z CT směsi popsané v kapitole 4.2. Směs tvořená ostřivem (křemenný písek) a pojivem (vodní sklo) vyplní jaderník a profoukne se  $\text{CO}_2$ , čímž dojde k vytvrzení. Nevýhodou této metody je horší rozpadavost. Z toho důvodu je nahrazována jinými metodami. [6]

#### **4.1.1 Pískové etážové formy**

Zvláštním způsobem aplikace pískových (bentonitových) forem jsou tzv. formy etážové. Využívají se především při výrobě malých nízkých odlitků. Formy, které obsahují zhruba čtyři dutiny pro odlitky, jsou naskládány na sobě, tak aby vtoková soustava byla v jejich středu. Po ztuhnutí taveniny a rozbití formy dostáváme jakýsi stromeček, jehož kmínek tvoří vtoková soustava. Tímto způsobem se vyrábějí litinové písní kroužky, nebo malé páčky atd. [6]

### **4.2 Formy z chemicky vytvrditelných směsí (metoda CT)**

Metoda chemicky vytvrditelných forem je další metoda, která se používá na výrobu forem pro odlitky z grafitických litin.

Princip této metody spočívá ve vytvrzení směsi ostřiva (křemenný písek) a pojiva (vodní sklo), metoda se nazývá CT. Po vyplnění rámu formovací směsí se forma, pomocí speciální trysky, profoukne  $\text{CO}_2$ , který okamžitě způsobí vytvrzení směsi formy.

Nevýhodou je horší rozpadavost formy, při vytloukání odlitků. Avšak pro svou jednoduchost a ekologičnost je tato metoda výroby slévárenských forem velmi perspektivní. [6]



### **4.3 *Skořepinové formy (metoda Croninga – metoda C)***

Je metoda, kdy formu tvoří poměrně tenká skořepina. Na její výrobu se používá směs křemenného ostříva a novolakové pryskyřice. Pro vytvrzení pryskyřice se přidává práškový hexametyléntetramin. [6]

Formovací směs se nasype na kovovou modelovou desku, která je ohřátá na určitou teplotu (200 až 250°C). Tím dojde k natavení pojiva, které vytvoří plastickou vrstvičku. Tloušťka plastické vrstvičky (stěny skořepiny) je závislá na době styku směsi s modelovou deskou. Pojivo pro tloušťku stěny 8 až 12 mm se nataví za 8 až 20 sekund. Přebytečná směs se odstraní, nejčastěji otočením modelové desky o 180° okolo vodorovné osy. Následuje vytvrzení skořepiny (při teplotě 300 až 450°C), vyjmutí z modelové desky a sestavení obou polovin formy. Poněvadž není forma samonosná, je nutné ji před odléváním zasypat pískem.

Mezi hlavní výhody skořepinových forem patří větší přesnost a drsnost povrchu odlitku a malá spotřeba formovací směsi. Nevýhodou této metody je energeticky nákladné vyhřívání modelové desky, a uvolňování zplodin při zahřívání pryskyřice. Tato metoda se uplatňuje ve velkosériové výrobě, např. při výrobě válců vzduchem chlazených motorů. [6]

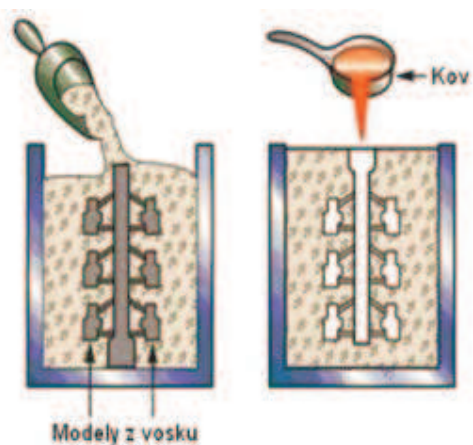
### **4.4 *Skořepinové formy - metoda vytavitelného modelu***

Je způsob výroby odlitků, při které se dosahuje vysoké rozměrové přesnosti a velmi hladkých povrchů. Součástky vyráběné tímto způsobem mají široké technické uplatnění. V automobilové průmyslu se touto metodou vyrábí váhadla spalovacích motorů, součástky zámků dveří, atd.

Základem této metody je voskový – vytavitelný model. Jednotlivé modely, které mají tvar odlitku, jsou připevněny na centrální vtokové soustavě, tak vzniká voskový stromeček. Ten se opakovaně namáčí do etylsilikátové břečky a zasypává křemičitým pískem, až se na jeho povrchu vytvoří dostatečně tlustá vrstva – skořepina. Takto připravená forma se vkládá do pece a vytavením voskového modelu vzniká dutina formy. V peci o teplotě 900°C se forma vypálí. Obvykle se skořepina zasypává pískem podobně jako u metody C. Následuje odlévání kovu do předehřáté formy viz



obrázek 26. Po ztuhnutí kovu se forma rozbije a vzniká „kovový stromček“. Jednotlivé odlitky se následně od vtokové soustavy oddělují. [6]



Obr. 26 Schéma výroby odlitků pomocí vytavitelného modelu [17]

## 5 APLIKACE GRAFITICKÝCH LITIN V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

Největší odběr odlitků z grafitických litin pro automobilový průmysl bezpochyby zajišťují brzdové komponenty. Z nichž značná část se nevyrábí jinou technologií než právě odléváním. Mezi tyto součástky řadíme hlavní brzdové válce, brzdové válečky, brzdové třmeny, tělesa brzdových bubnů a brzdové kotouče. Grafitické litiny se významně uplatňují při výrobě klikových a vačkových hřídelů, zdvihátek ventilů, vložek válců spalovacích motorů nebo celých bloků spalovacích motorů. Nedílnou součástí vozidel jsou skříně (nosiče) diferenciálu, turbinové skříně a další různá litinová tělesa startérů, držáky stabilizátorů, zavěšení kol automobilu, atd.

Mezi brzdové komponenty vyráběné z grafitických litin patří hlavní brzdový válec a brzdový váleček na obr. 27. Materiálem je zde litina s lupínkovým grafitem. Na výrobu se používají pískové formy bez jádra (otvory se dodatečně vrtají).



Obr. 27 Hlavní brzdový válec a brzdový váleček [18]

Grafitické litiny se uplatňují také při výrobě brzdových kotoučů. Standardně jsou kotouče u většiny automobilů odlévány z litiny s lupínkovým grafitem. U kotoučů pro sportovní automobily obsahuje litina zvýšené množství uhlíku, čímž kotouče vykazují vyšší tepelnou odolnost a nižší hlučnost při brzdění. Tyto nesou označení HC (High Carbon). Oba tyto typy kotoučů jsou na obr. 28.



Obr. 28 Standardní brzdový kotouč (vlevo), HC kotouč (vpravo)

U motorových komponentů se využívá litina s lupínkovým grafitem na výrobu vložných válců zobrazených na obr. 29. Vyrábějí se odstředivým litím, případně gravitačním litím do pískových forem. Litina s lupínkovým grafitem se používá také na výrobu pístních kroužků viz obr. 30.

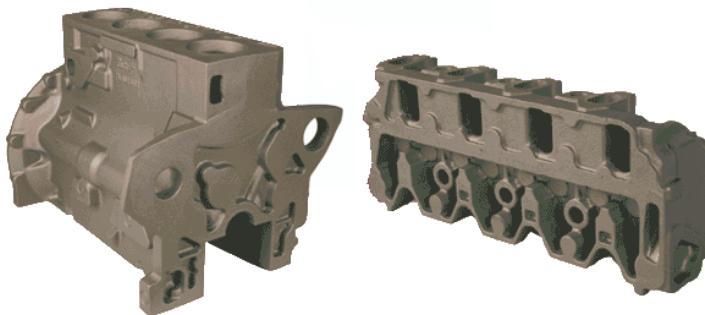


Obr. 29 Příklady vložek válců motorů [19]



Obr. 30 Příklady pístních kroužků [19]

Dále se z grafitické litiny vyrábějí hlavy a celé bloky spalovacích motorů. Příkladem je nová generace motoru EA888 firmy Audi, kde se využívá vlastností litiny s lupínkovým grafitem. Příklady hlavy a bloku motoru z litiny s lupínkovým grafitem jsou na obr. 31.

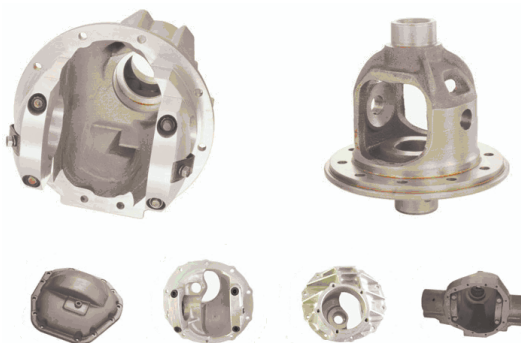


Obr. 31 Blok a hlava motoru z litiny s lupínkovým grafitem. [21]

Řada různých typů turbinových a ložiskových skříní se vyrábí z litiny s lupínkovým a kuličkovým grafitem, viz obr. 32. Litina s kuličkovým grafitem se používá také na výrobu skříní, nosičů diferenciálu uvedených na obr. 33.



Obr. 32 Odlitky z litiny s lupínkovým a kuličkovým grafitem[20]



Obr.33 Součástky diferenciálů[22]

## 6 ZÁVĚR

Tato práce se zabývá problematikou výroby odlitků z grafitických litin. Rozebírá tavení litiny v tavících agregátech, přípravu taveniny před odléváním (modifikace, očkování) a samotné odlévání do forem (pískové formy s pojivy první a druhé generace, skořepinové formy).

Podle tvaru vyloučeného grafitu rozděluje grafitické litiny na tři základní druhy. První je litina s lupínkovým grafitem. Jeto nejstarší z grafitických litin a v porovnání s ostatními litinami má nejhorší mechanické vlastnosti. Naopak se vyznačuje dobrými útlumovými a klznými vlastnostmi. U nás se její produkcí zabývá řada sléváren např. SLÉVÁRNA ANAH Prostějov s.r.o., která ročně produkuje 12000 tun odlitků z litiny s lupínkovým grafitem.

Z hlediska mechanických vlastností je mnohem výhodnější litina s kuličkovým grafitem. Její vlastnosti jsou tak dobré, že někdy nahrazuje ocel na odlitky. Zde má výhodu především v nižších výrobních nákladech, menší spotřebě kovu a odpadá tepelné zpracování nutné u ocelových odlitků. Litina s kuličkovým grafitem je dnes nejpoužívanější litinou. Pro její výrobu je oproti litině s lupínkovým grafitem zapotřebí modifikování a očkování. Mezi nejvýznamnější výrobce odlitků z litiny s kuličkovým grafitem u nás patří Slévárna a Modelárna Nové Ransko s.r.o., jejíž kapacita je cca 6000 tun odlitků ročně. Další jsou SLÉVÁRNA KUŘIM a.s, Slévárna HEUNISCH Brno s.r.o., nebo MOTOR JIKOV Slévárna litiny a.s., atd. Uvedené slévárny vyrábějí odlitky z litiny jak s kuličkovým, tak s lupínkovým grafitem.

Přechod litin s lupínkovým a kuličkovým grafitem tvoří litina s červíkovitým grafitem. Tato litina nachází uplatnění tam, kde litina s kuličkovým grafitem nepostačuje svými slévárenskými vlastnostmi, a litina s lupínkovým grafitem mechanickými vlastnostmi. Jedná se především o odlitky složitějších tvaru odolné vůči dynamickému a tepelnému zatížení. Produkce sériové výroby odlitků z litiny s červíkovitým grafitem není zatím prioritou sléváren v ČR.

Po shrnutí způsobu výroby odlitků grafitických litin jsou v závěru práce uvedeny praktické aplikace odlitků automobilového průmyslu.

## 7 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ROUČKA, J.: Metalurgie litin. (Skripta). VUT v Brně 1998.
- [2] MYNÁŘ, J.: Vliv průtočného množství taveniny ve formě na strukturu a mechanické vlastnosti tenkostěnných odlitků z LČG. (Diplomová práce). FS – TU v Liberci. 2007.
- [3] PLUHAŘ, J. a kol. : Nauka o materiálech. 1. vyd.Praha 1989.
- [4] VETIŠKA, A. a kol.: Teoretické základy slévárenské technologie. 2.vyd., Praha, 1974.
- [5] ČKD Motory,a.s., HRADEC KRÁLOVÉ: Technologický postup pro tavení litiny s lupínkovým grafitem. (Návodka). 1997
- [6] NOVÁ, I., NOVÁKOVÁ, I., BRADÁČ, J.: Technologie I. (Skripta). TU v Liberci 2006
- [7] Čech, J.: Motor – teorie [online]. c1998 [cit 11.11.2010]. Dostupné z WWW: <<http://www.mjauto.cz/newdocs/motor/kap4.htm>>
- [8] VOCH, R.: Hodnocení opotřebení a změn tribologických vlastností brzdových kotoučů. ZCU v Plzni nedatováno. Dostupné z WWW: <[http://www.ateam.zcu.cz/download/Prezentace\\_diplomka\\_Voch.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/download/Prezentace_diplomka_Voch.pdf)>
- [9] PODRÁBSKÝ, T., POSPÍŠILOVÁ, S.,: Struktura a vlastnosti grafitických litin. VUT v Brně 2006. Dostupné z WWW: <<http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/savgl/index.php?chapter=>>
- [10] NOVÁ, I.: Teorie slévání II. (Skripta). TU v Liberci 2007
- [11] Grafit (tuha), nedatováno. Dostupné z WWW: <<http://web.natur.cuni.cz/ugmnz/mineral/mineral/grafit.html>>
- [12] Kuplovna, 2007 – 2009. Dostupné z WWW: <<http://chestofbooks.com/crafts/mechanics/Mechanical-Processes/269-Ladles.html>>
- [13] Černý, V.: Elektrická oblouková pec, 2010. Dostupné z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=26229](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26229)>
- [14] Rotační pec, 2008. Dostupné z WWW: <<http://www.raptor-cz.com/reference/>>
- [15] Bolibruchová, D., Pastirčák, R., Sládek, A.: Zlievarenská metalurgia železných kovov. Juraj Štefuň – GEORG 2007

- [16] Metos: Litina s červíkovým grafitem, nedatováno. Dostupné z WWW:  
<<http://www.metos.cz/>>
- [17] Metoda vytavitelného modelu, 2006. Dostupné z WWW:  
<<http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=276>>
- [18] RENOVA Luhačovice, nedatováno. Dostupné z WWW:  
<[http://www.renovaluhacovice.cz/vyroba\\_brzdove\\_valce.php?id=4](http://www.renovaluhacovice.cz/vyroba_brzdove_valce.php?id=4)>
- [19] Federal MOGUL, nedatováno. Dostupné z WWW:  
<<http://www.federalmogul.com/en/OETechnology/PowertrainEnergy/Liners/>>
- [20] ČZ a.s., 2003 -2008. Dostupné z WWW:  
<<http://www.czas.cz/?PagelId=200>>
- [21] Heunisch-guss, nedatováno. Dostupné z WWW:  
<<http://www.heunisch-guss.com/v02/en/index.php?nav=3&sub=31>>
- [22] Diferenciály, 2007. Dostupné z WWW:  
<[http://www.emmbros.com/differential\\_housing.html](http://www.emmbros.com/differential_housing.html)>



### **Prohlášení**

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména §60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu užití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 5. 1. 2011

Podpis:

## **Declaration**

I have been notified of the fact that Copyright Act. No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in the full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis to grant a license for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 5. 1. 2011

Signature: